

승강기 소음의 주파수 특성 분석 및 평가 방법 고찰

Analysis of frequency characteristics and evaluation methods of elevator noise

강민우,¹ 오양기[†]

(Min-Woo Kang¹ and Yang-Ki Oh^{1†})

¹목포대학교 건축학과

(Received September 28, 2021; revised October 26, 2021; accepted October 28, 2021)

초 록: 승강기 소음에 대한 연구는 주로 발생 원인 및 저감 방안에 대한 것이 많았다. 승강기 소음을 정확하게 측정하고 평가하는 방법에 대해서는 아직 연구가 미비하다. 측정방법에 대해서는 국제표준으로 제정하여 측정 방법이 있지만 그것 또한 고층아파트에 적용하기 힘들고, 승강기 소음의 특성을 면밀히 반영하지 않은 것이 많다. 이러한 문제를 해결하고자 현행 규격에서 승강기 소음 측정 방법을 개선하는 연구가 이루어 졌다. 본 연구에서는 승강기 소음의 특성을 면밀히 파악하고자 하였다. 승강기 소음과 다른 설비기기와의 주파수 분석을 통해 승강기 소음이 다른 설비기기와는 다른 특성의 소음임을 검증 하였다. 승강기 소음은 구조전달소음으로 대표적인 구조전달소음인 중량바닥충격음과 비교 분석을 하였다. 승강기 소음과 중량바닥충격음과의 상관성은 0.9 수준으로 매우 높게 나타났다. 이 결과로 승강기 소음은 중 저주파대역이 주요한 구조전달소음이며 다른 설비기기과 함께 평가될 수 없음을 검증 하였다.

핵심용어: 아파트, 승강기, 소음, 측정방법, 평가방법

ABSTRACT: Research on elevator noise has mainly focused on the cause of its occurrence and measures to reduce it. There is still insufficient research on how to accurately measure and evaluate elevator noise. There is a measurement method established as an international standard for the measurement method, but it is also difficult to apply to high-rise apartments, and there are many cases that do not closely reflect the characteristics of elevator noise. In order to solve this problem, a study was conducted to improve the elevator noise measurement method in the current standard. In this study, the characteristics of elevator noise were closely identified. Through frequency analysis of the elevator noise and other equipment, it was verified that the elevator noise is noise with different characteristics from other equipment. Elevator noise was compared with heavy floor impact noise, which is a representative structural transmission noise, as structural transmission noise. Elevator noise was compared with heavy floor impact noise, which is a representative structural transmission noise, as structural transmission noise. The correlation between bang machine and rubber ball was found to be very high at 0.9 level. As a result, it was verified that the mid-low frequency band of the elevator noise is the main structural transmission noise and cannot be evaluated together with other equipment.

Keywords: Apartment houses, Elevator, Noise, Measurement method, Evaluation method

PACS numbers: 43.55.Br, 43.40.Qi

[†]Corresponding author: Yang-Ki Oh (oh@mokpo.ac.kr)

Department of Architecture, Mokpo National University, 1666 Yeongsan-ro, Cheonggye-myeon, Muan-gun, Jeollanamdo 58554, Republic of Korea

(Tel: 82-61-450-2723, Fax: 82-61-450-2723)



Copyright©2021 The Acoustical Society of Korea. This is an Open Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

I. 서론

고층아파트에서 승강기는 없어서는 안 될 필수 설비기기이다. 이렇게 중요한 승강기가 운행할 때 발생하는 진동과 소음은 실내 거주자에게 상당히 신경 쓰이는 환경요소이다.^[1,2] 승강기 소음과 진동에 대해서는 1990년대부터 많은 연구가 이루어져왔다. 그것들은 대부분 소음과 진동의 발생 원인을 파악하고 그것을 저감하고자 하는 연구^[3,4]에 집중되어 있었다. 하지만 여전히 승강기 소음에 대한 민원은 지속적으로 발생하고 있다. 더군다나 소음에 대한 거주민의 인식 및 민감함이 증가^[5]하고 있어 승강기 소음에 대한 대책이 필요한 실정^[6]이다. 특히, 승강기 소음에 대한 측정 방법 및 평가 방법에 대한 연구^[7,8]가 우선시 되어야 할 것이다. 그것이 제대로 되어 있지 않다면 승강기 소음은 어디에서도 그 타당성에 의심을 받을 수 밖에 없다. 이러한 관점에서 앞서 승강기 소음 측정 방법에 대한 연구^[9]가 진행되었다. 승강기 소음 측정 방법이 명시되어 있는 현행 측정 규격으로 International Organization for Standardization(ISO)^[10] 규격을 그대로 인용한 KSF ISO 16032 건축설비 소음 측정 방법^[11]내의 승강기 소음 측정 방법에 대해 고층아파트에 적용하기 용이하고, 승강기 소음의 특성을 잘 반영한 개선방안을 연구한 것이다. 본 연구에서는 앞서 승강기 소음 측정방법 개선방안의 연구를 바탕으로 다른 설비기기 소음과 주파수 특성 비교하고, 평가방법이 소음원의 특성을 잘 반영하여 제정된 중량바다충격음과의 상관성 분석을 통해 승강기 소음의 주파수 특성을 면밀히 파악하고, 개선된 승강기 소음 측정 방법으로 측정 한 승강기 소음을 평가하는 방법이 새롭게 필요함을 주장하고자 하였다.

II. 선행연구 고찰 및 연구내용

2.1 선행연구를 통한 문제점 도출

Kang *et al.*^[7]는 승강기 소음의 가장 기본적인 문제를 지적하고 있다. 바로 신호대 잡음비가 낮다는 것이다. 승강기 소음은 평균적으로 35 dB(A) 수준으로 측정되지만 이 수치는 배경소음과 큰 차이가 나지 않아 측정이 매우 불편함을 확인하였다. 특히, 측정

값이 30 dB(A) 이하인 경우에는 배경소음 보다 낮게 측정되기도 한다. 이에 Kang *et al.*^[8]는 현행 승강기 소음 측정 규격이라 할 수 있는 KS F ISO 16032에서 제시한 측정 방법으로 측정했을 때 30층 이상의 고층아파트라면 15분 이상이 소요되어 외부 소음에 영향을 많이 받아 실험의 정확성과 재연성에 문제가 있음을 밝혔다. 또한 현행 규격은 다른 설비기기과 함께 승강기 소음을 다루고 있어 측정 주파수대역에도 큰 차이가 있음을 검증하였다. 이와 같은 결과로 현행 규격에서 제시하고 있는 승강기 소음의 측정 방법은 고층아파트에 적용하기 매우 어렵고, 승강기 소음을 정확하게 측정할 수 있는 측정 방법이 아님을 문제로 하여 Kang *et al.*^[9]은 현행 규격의 개선안을 제시하였다. 그 내용으로는 승강기의 가동 조건, 측정 주파수대역, 마이크로폰의 위치, 평가 척도 4가지의 개선 방안을 제안하고 그 개선안이 고층아파트에서 적용이 가능하고 승강기 소음을 정확하게 측정할 수 있는 측정방법임을 검증하였다. 개선 방안 중 측정 주파수대역에서 본 연구의 문제점을 찾을 수 있다. 승강기 소음은 다른 설비기기의 소음에 비해 500 Hz 이하의 중저주파대역에 주요한 소음으로 나타났다. 특히, 1,000 Hz 이상의 대역에서는 영향력이 거의 없는 것으로 나타났다. 이와 같이 승강기 소음이 중저주파대역이 주요한 소음이라면 소음을 평가하는 방법 또한 일반 건축 설비기기과 같이 등가소음레벨이나 최대음압레벨의 산출값으로 평가하는 것은 타당하지 않다. 승강기 소음을 개선을 통해 정확하게 측정하였다면, 승강기 소음을 평가하는 방법이 새롭게 마련되어야 한다.

2.2 연구내용

이 연구에서는 승강기 소음을 평가하는 방법이 필요함을 검증하기 위해 두 가지 분석을 진행하였다. 첫 번째로 승강기 소음이 다른 건축 설비기기 소음과는 다른 특성을 나타냄을 검증하는 것이다. 고층아파트에서 대표적인 설비 소음으로 분류할 수 있는 싱크대 급수 소음과 레인지후드 작동음, 발코니 배수소음 세 가지로 소음원을 선정하고 측정하여 승강기 소음과 비교 분석하였다. 이 분석 결과는 승강기 소음은 다른 설비 소음과는 다른 주파수 특성

을 나타내고 있음을 검증해야 한다. 두 번째로 승강기 소음이 중 저주파 대역이 주요한 소음임을 보다 면밀히 검증해야 한다. 고층아파트에서 승강기 소음의 전달 경로는 대부분 구조를 통해 전달되는 구조 전달소음이다. 그에 따라 승강기 소음은 500Hz 이하의 중 저주파대역이 지배적임을 알 수 있다. 구조 전달 소음으로 중 저주파대역의 대표적인 소음인 중량 바닥충격음은 평가방법이 따로 제정되어 있는 대표적인 소음이다. 뱅머신과 러버볼로 측정된 중량바닥 충격음과 승강기 소음을 비교 분석 하여 그 유사성 검증 을 통해 승강기 소음이 중 저주파 대역이 주요한 구조 전달 소음임을 검증하고자 한다. 이 두 가지 분석 및 검증을 통해 승강기 소음은 다른 소음과 같은 방법으로 평가 될 수 없으며, 중 저주파대역이 주요한 구조 전달 소음으로 새로운 평가 방법이 필요함을 주장 하고자 하였다.

III. 측 정

3.1 승강기 소음 측정

승강기 소음의 측정은 부산광역시에 위치한 신축 아파트이며, 총 3개동에서 최상층 기준 3개 세대 에서 측정을 진행하였다. 측정 방법은 선행연구¹⁾에서 제시한 측정방법 개선안으로 측정을 진행 하였다. 가동조건은 해당 층 정지를 기준으로 10개 층 이동 하였으며, 주파수 대역은 1/3 Oct. 중심주파수 31.5 Hz

Table 1. Measurement equipment for elevator noise.

| Equipment | Company | Remarks |
|------------------------|---------|-------------------|
| Microphone & Amplifier | G.R.A.S | 1/2 Inch, Class 0 |
| Analyzer | SINUS | 4CH |
| Cable | - | Lemo 7pin |



Fig. 1. (Color available online) Measurement detail and microphone position for elevator noise.

~ 500 Hz 까지를 측정 하였다. 마이크로폰의 위치는 높이는 0.75 m 벽면으로부터 0.5m로 중앙 점을 제외한 모서리 3지점을 측정 하였으며, 최대음압레벨로 측정하였다. 측정 장비는 Table 1에 나타냈으며, 실험현장 및 상세는 Fig. 1과 같다.

3.2 중량바닥충격음 측정

중량바닥충격음의 측정은 천안에 위치한 아파트에서 진행하였으며, 무작위 선정 3 세대를 측정 하였다. 충격원은 뱅머신과 러버볼로 측정 하였으며, 측정은 공동주택 바닥충격음 차단구조인정 및 관리기준과 KSF 2810-2¹²⁾에 따라 측정 하였다. 측정 장비는 Table 2에 나타냈으며, 실험현장 및 상세는 Fig. 2와 같다.

3.3 실내 설비기기 소음 측정

실내 설비기기 소음 측정은 3 가지 소음으로 분류 하였다. 싱크대 급수 소음과 레인지후드 작동음은 광주광역시 광산구에 위치한 입주를 앞둔 신축 공동주택에서 측정 하였으며, 발코니 배수 소음은 광주광역시 북구에 위치한 공동주택에서 측정 하였다. 모두 소음원의 특성을 파악하는 것이 주 목적이기 때문에 음원에서 가까운 위치에서 측정 하였다. 싱크대 급수

Table 2. Measurement equipment for heavy-weight impact floor noise.

| Equipment | Company | Remarks |
|------------------------|-----------|-------------------|
| Microphone & Amplifier | BSWA | 1/2 Inch, Class 1 |
| Analyzer | SA-01 | 4CH |
| Cable | - | BNC |
| Bang machine | S&V KOREA | - |
| Rubber ball | RION | - |



Fig. 2. (Color available online) Measurement for heavy-weight impact floor noise (Bang machine and receiving room).

Table 3. Measurement equipment for sink water supply noise and fume hood operation sound.

| Equipment | Company | Remarks |
|------------------------|---------|-------------------|
| Microphone & Amplifier | BSWA | 1/2 Inch, Class 1 |
| Analyzer | SA-01 | 4CH |
| Cable | - | BNC |

Table 4. Measurement equipment for water drain noise.

| Equipment | Company | Remarks |
|------------------------|---------|----------|
| Microphone & Amplifier | NTI XL2 | 1/4 Inch |
| Analyzer | | 1CH |



Fig. 3. (Color available online) Measurement site and details for sink water supply noise and fume hood operation sound.



Fig. 4. (Color available online) Measurement site and details of water drain noise.

소음과 레인지 후드 작동음은 음원 앞 0.5 m에서 측정하였으며, 발코니 배수 소음은 배수 드레인 주위 0.3 m에서 측정하였다. 각각의 측정 장비와 실험 현장 및 상세는 Tables 3과 4 및 Figs. 3과 4에 나타났다.

IV. 측정 결과 및 분석

4.1 승강기 소음과 실내설비기기 소음의 차이에 따른 분석

실내 설비기기 소음으로 측정한 싱크대 급수 소

Table 5. Measurement result of three equipment.

| Frequency band (Hz) | Sink water supply noise | Fume hood operation sound | Water drain noise |
|---------------------|-------------------------|---------------------------|-------------------|
| 25 | 7.5 | 3.9 | 16.1 |
| 31.5 | 17.1 | 8.5 | 19.8 |
| 40 | 16.7 | 10.9 | 28.5 |
| 50 | 16.8 | 12.5 | 38.9 |
| 63 | 19.1 | 24.0 | 41.5 |
| 80 | 24.0 | 34.9 | 48.5 |
| 100 | 26.4 | 43.4 | 44.7 |
| 125 | 28.5 | 40.7 | 46.9 |
| 160 | 29.3 | 31.2 | 51.4 |
| 200 | 28.9 | 36.3 | 52.1 |
| 250 | 31.1 | 37.0 | 49 |
| 315 | 32.7 | 39.7 | 55.9 |
| 400 | 30.3 | 43.9 | 55.9 |
| 500 | 30.1 | 45.3 | 56.3 |
| 630 | 32.5 | 41.5 | 60.1 |
| 800 | 34.8 | 41.8 | 63 |
| 1000 | 37.6 | 48.9 | 61.1 |
| 1250 | 38.9 | 44.9 | 60.2 |
| 1600 | 39.3 | 41.9 | 61.8 |
| 2000 | 42.6 | 39.6 | 62.1 |
| 2500 | 44.1 | 39.9 | 65 |
| 3150 | 45.0 | 38.4 | 65.5 |
| 4000 | 48.8 | 36.8 | 67.5 |
| 5000 | 51.4 | 35.2 | 67.2 |
| 6300 | 51.4 | 31.6 | 67.8 |
| 8000 | 50.0 | 29.4 | 67.8 |

Unit : dB(A) (LAFmax)

음, 레인지후드 작동음, 발코니 배수 소음에 대해 1/3Oct. 중심주파수 31.5 Hz~8,000 Hz 까지 측정 결과는 Table 5와 같다. 최대음압레벨로 측정 된 값이며, 소음원의 주파수 특성을 분석하기 위함으로 단일수치값 산출은 제외 하였다. 싱크대 급수소음과 발코니 배수소음은 비슷한 경향을 나타냈으나 레인지 후드의 경우 125 Hz 대역과 1,000 Hz 대역에서 피크 값을 나타냈다. 승강기 소음 측정 결과는 Table 6과 같다. 가장 윗줄은 측정 동과 호수를 나타낸 것이다. 최상층 3세대 승강기와 가장 인접한 실에서 측정한 것이다. 3세대 모두 63 Hz~250 Hz 대역이 높게 나타났다. 특히 공통적으로는 63 Hz 대역에서 가장 높은 레

Table 6. Measurement result of elevator noise.

| Frequency band (Hz) | 201-2602 | 201-2605 | 211-2703 | Average |
|---------------------|----------|----------|----------|---------|
| 25 | 23.1 | 28.1 | 26.9 | 26.0 |
| 31.5 | 28.0 | 29.3 | 26.5 | 27.9 |
| 40 | 50.1 | 27.7 | 24.0 | 34.0 |
| 50 | 55.2 | 43.7 | 37.4 | 45.5 |
| 63 | 49.8 | 42.4 | 33.7 | 42.0 |
| 80 | 24.4 | 44.8 | 31.4 | 33.6 |
| 100 | 23.3 | 32.4 | 24.8 | 26.9 |
| 125 | 19.2 | 24.9 | 22.3 | 22.1 |
| 160 | 18.1 | 28.2 | 16.6 | 21.0 |
| 200 | 18.8 | 26.2 | 13.9 | 19.6 |
| 250 | 17.3 | 28.9 | 16.5 | 20.9 |
| 315 | 16.4 | 32.1 | 27.5 | 25.3 |
| 400 | 13.1 | 30.1 | 16.8 | 20.0 |
| 500 | 13.3 | 27.5 | 13.4 | 18.1 |
| 630 | 9.3 | 24.3 | 9.9 | 14.5 |
| 800 | 10.5 | 21.4 | 9.1 | 13.7 |
| 1000 | 10.9 | 21.9 | 11.8 | 14.9 |
| 1250 | 8.1 | 25.5 | 15.4 | 16.3 |
| 1600 | 5.2 | 26.3 | 9.3 | 13.6 |
| 2000 | 2.5 | 15.9 | 4.6 | 7.7 |
| 2500 | 3.6 | 11.6 | 4.2 | 6.5 |
| 3150 | 3.9 | 4.6 | 3.9 | 4.1 |
| 4000 | 4.7 | 5.5 | 7.7 | 6.0 |
| 5000 | 5.7 | 5.4 | 12.1 | 7.7 |
| 6300 | 6.6 | 5.6 | 5.4 | 5.9 |
| 8000 | 6.9 | 5.6 | 6.2 | 6.3 |

Unit : dB (LFmax)

벨을 보였다. 승강기 소음 3세대 측정값의 평균값과 싱크대 급수 소음, 레인지 후드 작동음, 발코니 배수 소음을 비교 분석한 것을 Fig. 5에 나타냈다. 배경소음 대비 증가율은 그래프에서도 확연하게 드러난다. 승강기 소음은 그만큼 신호 대 잡음비 확보가 어려운 소음이다. 또한 최대음압레벨이 측정되는 지점을 분석해 보면 승강기 소음은 63 Hz~125 Hz 대역인 반면, 다른 설비기기의 소음은 1,000 Hz 이상의 고주파 대역에서 피크 레벨이 나타난다. 특히 주파수 대역의 형태를 유심히 보면, 승강기 소음은 중저주파 대역에서 과도하게 높게 나타나고, 1,000 Hz 이상의 대역과의 차이 또한 크게 나타난다. 하지만 설비기기

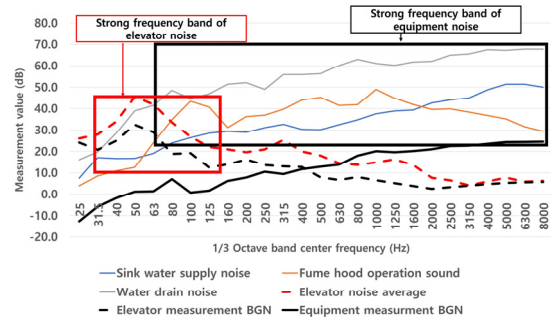


Fig. 5. (Color available online) Frequency band analysis of equipment noise and elevator noise.

의 소음은 고주파대역에서 대부분 평탄한 값을 유지하고 있음을 확인 할 수 있다.

이와 같은 분석 결과로 볼 때 승강기 소음은 다른 설비기기들과 소음 특성이 확연하게 다를 수 확인 할 수 있다. 특히 중저주파 대역이 주요한 소음원임을 검증 하였고 그에 따라 승강기 소음은 다른 설비기기들과 같이 평가될 수 없는 소음임을 알 수 있다.

4.2 승강기 소음과 중량바닥충격음의 비교 분석

승강기 소음은 승강기 통로를 상하로 이동 할 때 발생하는 운행 소음과 기계실의 권상기와 모터의 가동에 의한 소음 두 가지 원인이다. 위 두 가지 모두 구조를 통해 실내로 전달되는 구조전달소음으로 중저주파대역의 영향이 크다. 중량바닥충격음은 대표적인 구조전달소음으로 500 Hz 이하의 대역을 측정하고 평가한다. 먼저 중량 바닥충격음 측정 결과를 Table 7에 나타냈다. 가장 윗줄은 측정 동과 호수를 나타낸 것이다. 여기서 측정값은 중량바닥충격음 평가 시 사용되는 linear 값이며 측정 범위는 500 Hz 대역까지 이다. Table 8은 승강기 소음 측정결과를 중량바닥충격음 측정 결과와 명확하게 비교되도록 그 값을 나타낸 것이다. 가장 윗줄은 측정 동과 호수를 나타낸 것이다. 여기서 측정 주파수대역은 중량바닥충격음을 평가하는 주파수대역과 동일하며, 측정 값 또한 중량바닥충격음과 같이 linear 값으로 표기하였다.

3세대 뱅머신 가진 중량충격음의 평균값과 러버볼 가진 중량충격음의 평균값 그리고 엘리베이터 소음의 주파수 대역별 경향을 Fig. 6에 나타냈다. 간단

Table 7. Measurement result of heavy-weight impact floor sound.

| Frequency band (Hz) | 102-2103 | | 102-2203 | | 102-801 | |
|---------------------|----------|------|----------|------|---------|------|
| | B | R | B | R | B | R |
| 50 | 76.3 | 70.6 | 81.5 | 75.1 | 77.1 | 70.5 |
| 63 | 71.6 | 65.2 | 77.1 | 70.9 | 72.8 | 65.3 |
| 80 | 61.2 | 58.8 | 68.8 | 64.8 | 67.4 | 65.9 |
| 100 | 59.3 | 59.2 | 63.5 | 60.8 | 63 | 62.6 |
| 125 | 44.8 | 46.8 | 50.1 | 51.4 | 50 | 53.5 |
| 160 | 44.3 | 50.5 | 50.3 | 54.3 | 47.7 | 54.7 |
| 200 | 39.8 | 47.3 | 45.1 | 53.2 | 39.5 | 47.4 |
| 250 | 40.4 | 39.7 | 42.2 | 45.9 | 37.2 | 41.7 |
| 315 | 31.9 | 38.7 | 36.3 | 41.6 | 35.8 | 39.3 |
| 400 | 30.0 | 34 | 30.8 | 37.2 | 31.7 | 39.5 |
| 500 | 29.7 | 30.4 | 30.5 | 30.9 | 30.3 | 31.2 |
| 630 | 28.2 | 32.1 | 26.6 | 24.8 | 29.0 | 28.6 |

B = Bang machine, R = Rubber ball. Unit : dB (LFmax)

Table 8. Measurement result of elevator noise.

| Frequency band (Hz) | 201-2602 | 201-2605 | 211-2703 | Average |
|---------------------|----------|----------|----------|---------|
| 50 | 55.2 | 50.8 | 46.7 | 50.9 |
| 63 | 49.8 | 46.6 | 41.9 | 46.1 |
| 80 | 42.9 | 44.8 | 42.6 | 43.5 |
| 100 | 37.2 | 32.5 | 39.2 | 36.3 |
| 125 | 24.4 | 24.9 | 23.5 | 24.3 |
| 160 | 22.4 | 28.3 | 19.8 | 23.5 |
| 200 | 24.8 | 26.2 | 18.0 | 23.0 |
| 250 | 22.3 | 28.9 | 20.9 | 24.0 |
| 315 | 22.8 | 38.5 | 27.5 | 29.6 |
| 400 | 14.6 | 35.0 | 19.0 | 22.9 |
| 500 | 15.6 | 36.8 | 16.6 | 23.0 |
| 630 | 16.4 | 34.1 | 13.8 | 21.4 |

Unit : dB (LFmax)

한 비교 분석만으로도 승강기 소음과 중량바닥충격음의 주파수 특성은 상당히 유사함을 보인다. 다만, 승강기 소음의 경우 영향력이 높은 구간이 상대적으로 확연하게 나타난다. 이는 가진 조건의 차이로, 모든 주파수대역에서 일정한 충격력을 낼 수 있는 표준중량충격원과 아파트에 설치된 많은 변수를 포함한 승강기의 소음 발생 조건에서 차이를 보인 것으로 판단된다.

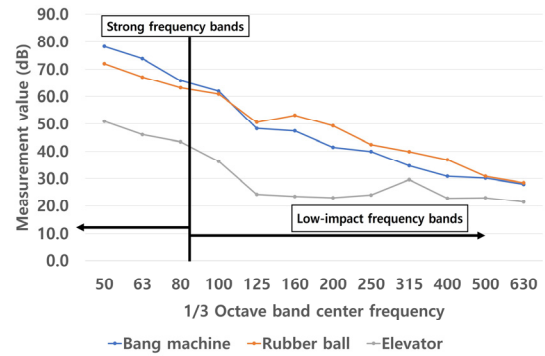


Fig. 6. (Color available online) Frequency band analysis of heavy-weight impact noise and elevator noise.

Table 9. Average value of bang machine and rubber ball and elevator noise.

| Frequency band (Hz) | Bang machine | Rubber ball | Elevator |
|---------------------|--------------|-------------|----------|
| 50 | 78.3 | 72.1 | 50.9 |
| 63 | 73.8 | 67.1 | 46.1 |
| 80 | 65.8 | 63.2 | 43.5 |
| 100 | 61.9 | 60.9 | 36.3 |
| 125 | 48.3 | 50.6 | 24.3 |
| 160 | 47.4 | 53.2 | 23.5 |
| 200 | 41.5 | 49.3 | 23.0 |
| 250 | 39.9 | 42.4 | 24.0 |
| 315 | 34.7 | 39.9 | 29.6 |
| 400 | 30.8 | 36.9 | 22.9 |
| 500 | 30.2 | 30.8 | 23.0 |
| 630 | 27.9 | 28.5 | 21.4 |

Unit : dB (LFmax)

추가로 평균값에 대해 각각 상관성 분석을 진행하였다. 상관성 분석은 중량충격음 뱅머신 측정 결과와 러버볼 측정 결과 그리고 승강기 소음 측정 결과 값의 산술 평균 값으로 각각 분석하였다. 승강기 소음 측정 결과를 기준으로 승강기 소음과 뱅머신, 승강기 소음과 러버볼의 상관관계를 분석하였다. 상관분석에 사용된 값은 Table 9 와 같다.

상관계수 분석 결과는 Table 10에 나타냈으며, 상관계수 산출에 따른 피어슨 R² 값은 Table 11에 나타냈다. 뱅머신과의 상관계수는 0.9 수준으로 매우 밀접하며 러버볼 또한 0.8 이상으로 매우 높은 상관계수를 보였다. 이와 같은 결과로 볼 때 승강기 소음은

Table 10. Correlation analysis of heavy-weight impact floor sound and elevator noise.

| | Bang machine | Rubber ball |
|-------------------|--------------|-------------|
| Correlation value | 0.92 | 0.86 |

Table 11. Pearson's R square of heavy-weight impact floor sound and elevator noise.

| | Bang machine | Rubber ball |
|----------------|--------------|-------------|
| R ² | 0.85 | 0.73 |

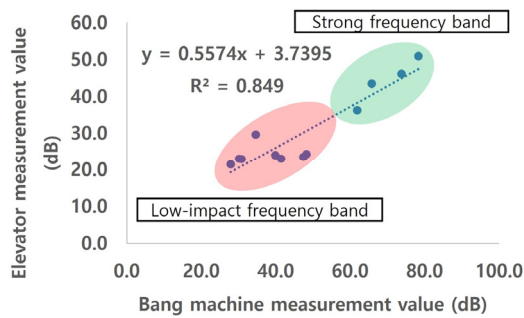


Fig. 7. (Color available online) Fitted curve of bang machine and elevator measurement value.

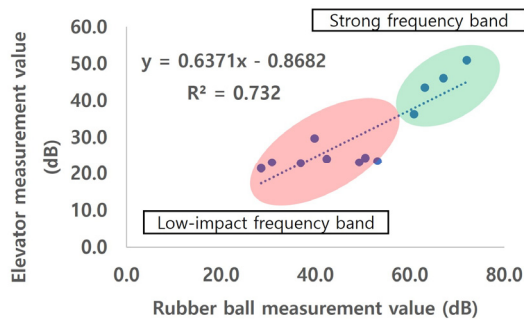


Fig. 8. (Color available online) Fitted curve of rubber ball and elevator measurement value.

바닥충격음에 비해 측정되는 레벨이 낮지만 그 경향은 매우 유사한 것으로 해석할 수 있다. 피어슨 R² 값에 대한 회귀곡선은 Figs. 7과 8에 나타났다. 앞선 분석 Fig. 6의 영향력이 큰 주파수대역과 영향력이 상대적으로 낮은 주파수대역으로 나누어 비교해 보았을 때, 영향력이 높은 주파수대역이 기준선에 근접해 있는 것을 확인할 수 있다. 상관 계수와 피어슨 R² 값 모두 0.85 수준의 높은 상관성을 보이는 것은 승강기 소음이 500 Hz 이하의 중저주파대역이 주요한 구조전달 소음임을 검증하는 결과이다. 이와 같은 결과로 볼 때 승강기 소음 역시 중량바닥충격음과 마

찬가지로 승강기 소음을 정확하게 평가할 수 있는 평가 방법이 마련되어야 한다.

V. 결론

현재까지 승강기 소음을 측정하고 평가하는 방법에 대한 연구는 진행되지 않고 있었다. ISO를 그대로 받아들여 KS 규격이 제정되었지만 그것 또한 고층아파트에 적용하기 어렵고 승강기 소음을 다른 설비기기들과 같이 측정하고 평가하는 등 몇 가지 문제가 존재했다. 이에 선행연구에서 승강기 소음 측정 방법에 대해 개선 방안이 제시되었다. 본 연구에서는 개선된 측정 방법을 통해 측정된 승강기 소음을 평가하는 새로운 평가 방법이 필요함을 실험과 분석을 통해 검증하고자 하였다. 먼저 승강기 소음이 다른 설비기기 소음과는 다른 특성을 나타냄을 검증하였다. 일반적인 설비소음과는 다르게 500 Hz 이하 대역의 영향력이 높은 것을 확인하였다. 이와 같은 주파수 특성은 구조전달 소음에서 많이 발생한다. 중량바닥충격음이 대표적인 구조전달 소음으로 승강기 소음과 중량바닥충격음의 상관성 분석을 하였다. 그 결과 0.9 수준의 매우 높은 상관계수를 나타냈으며, 피어슨 R² 값 또한 0.8 수준으로 매우 높게 나타났다. 이 두 가지 검증 결과로 승강기 소음은 다른 설비기기들과 함께 평가될 수 없으며, 승강기 소음만을 위한 새로운 평가 방법이 필요함을 확인하였다. 본 연구는 측정방법 개선안을 제시한 선행 연구를 토대로 승강기 소음 역시 새로운 평가 방법이 필요함을 주장하기 위한 연구인 것에 한계가 있다. 이후 연구에서는 승강기 소음 평가 방법 제안에 대해 보다 심도 있는 연구가 진행되어야 할 것이다.

감사의 글

이 연구는 한국연구재단의 정부지원(과학기술정보통신부)으로 진행되었습니다. NRF-2020R1A2C1015162.

References

1. M. W. Kang and Y. K. Oh, "A survey on the response

- of apartment house resident on elevator noise” (in Korean), The Regional Association of Architectural Institute of Korea, **19**, 181-188 (2017).
2. A. Y. Jung, K. W. Kim, H. K. Shin, and K. S. Yang, “Criteria and characteristics of elevator noise in apartment,” *Appl. Mech. Mater.* **873**, 231-236 (2017).
 3. H. S. Kim, H. G. Kim, M. J. Kim, and Y. I. Oh, “Reduction methods of the elevator-operating noise in apartment housings” (in Korean), *Proc. KSNVE*. 619-626 (1994).
 4. E. S. Jeon and B. H. Cho, “The countermeasure which reduce the noise and vibration of the building elevator” (in Korean), *J. Korean Digit. Archit. Inter. Assoc.* **5**, 36-42 (2005).
 5. H. K. Shin and K. Y. Kim, “Analysis of subjective responses to elevator noise in apartment houses” (in Korean), *Trans. Korean Soc. Noise Vib. Eng.* **28**, 236-242 (2018).
 6. M. W. Kang and Y. K. Oh, “A study on the characteristics and actual conditions of operation noise and vibration of rope elevator in high-rise apartment,” (in Korean), *J. Acoust. Soc. Kr.* **40**, 84-91 (2021).
 7. M. W. Kang, M. J. Song, and Y. K. Oh, “Evaluation of elevator noise level of apartment houses through vibration measurement” (in Korean), *JKIAEBS*. **12**, 641-654 (2018).
 8. M. W. Kang, Y. K. Jang, and Y. K. Oh, “Analysis of noise level and measurement method for elevator in apartment houses” (in Korean), *JKIAEBS*. **13**, 491-502 (2019).
 9. M. W. Kang and Y. K. Oh, “Validity of elevator noise measurement method in international standards on high-rise residential buildings,” *Sustainability* **13**, 9806 (2021).
 10. ISO 16032, *2004 Acoustics—Measurement of Sound Pressure Level from Service Equipment in Buildings—Engineering Method*, 2004.
 11. KS F ISO 16032, *2015 Measurement of Sound Pressure Level from Service Equipment in Buildings—Engineering Method*, 2015.
 12. KS F 2863-2, *Rating of Floor Impact Sound Insulation for Impact Source in Buildings and Building Elements - Part 1 : Floor Impact Sound Insulation Against Standard, Heavy Impact Source*, 2017.

저자 약력

▶ 강민우 (Min-Woo Kang)



2013년 2월 : 목포대학교 건축학사
 2016년 2월 : 목포대학교 건축학석사
 2019년 2월 : 목포대학교 건축학박사 수료
 2019년 3월 ~ 현재 : 목포대학교 친환경건축연구센터 연구원

▶ 오양기 (Yang-Ki Oh)



1984년 2월 : 서울대학교 건축학과 공학사
 1986년 2월 : 서울대학교 대학원 건축학과 공학석사
 1990년 2월 : 서울대학교 대학원 건축학과 공학박사
 1991년 3월 ~ 현재 : 목포대학교 건축학과 교수